

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



**EVALUACIÓN DE COMPUESTOS DE HUMUS OBTENIDOS A PARTIR DE
DIFERENTES SUSTRATOS USANDO LOMBRIZ *Eisenia férida* (Edwards y
Bholen 1995) PARA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION AGRICOLA**

PRESENTA

ALEJANDRO RIVAS PÉREZ

ESCOBEDO, N.L.

MARZO DE 2018

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



**EVALUACIÓN DE COMPUESTOS DE HUMUS OBTENIDOS A PARTIR DE
DIFERENTES SUSTRATOS USANDO LOMBRIZ *Eisenia férida* (Edwards y
Bhole 1995) PARA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION AGRICOLA
PRESENTA**

ALEJANDRO RIVAS PÉREZ

ESCOBEDO, N.L.

MARZO DE 2018

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



**EVALUACIÓN DE COMPUESTOS DE HUMUS OBTENIDOS A PARTIR DE
DIFERENTES SUSTRATOS USANDO LOMBRIZ *Eisenia fétida* (Edwards y
Bholen 1995) PARA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION AGRICOLA
PRESENTA**

ALEJANDRO RIVAS PÉREZ

ESCOBEDO, N.L.

MARZO DE 2018

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

PhD. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Director de Tesis

PhD. Emilio Olivares Sáenz
Co-Director de Tesis

Dr. Fidel Blanco Macías
Co-Director Externo

Dr. Roberto Carranza de la Rosa
Asesor Interno

Dra. Adriana Gutiérrez Diez
Subdirectora de Estudios de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado especialmente a mis padres:

Juana Azucena Pérez Treviño y Evencio Rivas Salcedo,

ya que fueron los impulsores principales en la realización de este trabajo, y posteriormente, me infundieron palabras de aliento en los momentos más difíciles.

No puedo olvidar la paciencia, cuidado y enseñanzas que me dio mi hermano

Luis Bernardo Rivas Pérez.

Su ejemplo ha sido de mucha ayuda.

También quiero dedicar esta obra a mis compañeros de generación:

Alonso González Gómez, Angélica Janet Guardiola de León, Brenda Mariela Reyes,
Carina Idalia Almaguer Alonso, Karla Andrea Frausto Jaime, Luis Enrique Espinosa
Orozco y Lucero Muñiz Moreno,

Su compañerismo durante las clases, han sido de gran ayuda durante esta etapa.

Y a ti, querido lector, espero que disfrutes la lectura de esta Tesis.

Nunca dejes de aprender.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS todopoderoso, creador de lo visible y lo invisible.

Gracias por mandar a tu hijo Jesús para la remisión de nuestros pecados.

A ti sea toda la gloria, honra y poder.

A toda la familia que llevamos el apellido Rivas y/o Pérez, ya que me criaron y me impulsaron a seguir con mis estudios básicos y profesionales.

A todos mis amigos. Gracias por estar al pendiente de mis avances de esta tesis. Su amistad es invaluable.

Mi más sincero agradecimiento al PhD. Rigoberto Vázquez Alvarado por su apoyo, participación y ayuda que me fue brindada durante la realización de este trabajo.

Al PhD. Emilio Olivares Sáenz, al Dr. Roberto Carranza de la Rosa y al Dr. Fidel Blanco Macías por formar parte del Comité de Tesis y por su apoyo, sugerencias, confianza y colaboración para el presente trabajo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y a CONACYT, por brindarme apoyo económico.

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL, y al personal de campo por toda su ayuda en mi formación académica.

DICE DE CONTENIDO.

	Pagina.
INDICE DE CUADROS.	V
INDICE DE FIGURAS.	VI
RESUMEN.	1
SUMMARY.	2
I.INTRODUCCION.	3
1.1 Hipótesis.	5
1.2 Objetivos.	5
II. REVISION DE LITERATURA.	6
2.1 Materia Orgánica.	6
2.1.1 Biodegradación de la materia orgánica.	7
2.2 Mineralización de Residuos Orgánicos.	9
2.3 Relación Carbono/Nitrógeno.	9
2.4 La Lombriz de Tierra <i>Eisenia fétida</i> (Edwards y Bholen 1995).	11
2.4.2 Contribución del humus de lombriz las plantas y al suelo.	14
2.5 Características Físicas y Fisiológicas Del Nopal Verdura.	16
2.5.1 Aspectos comerciales, productivos y climatológicos del cultivo del nopal verdura.	17
III. MATERIALES Y METODOS.	18
3.1 Ubicación del Área Experimental.	18
3.2 Diseño Estadístico.	18
3.3 Descripción De Los Tratamientos.	21
3.3.1 Etapa 1.	21
3.3.2 Etapa 2.	23
3.4 Toma De Muestras.	24
3.4.1 Etapa 1.	24
3.4.2 Etapa 2.	25
3.5 Determinación De Las Variables.	26

3.5.1 Etapa 1.	26
3.5.2 Etapa 2.	27
IV. RESULTADOS	29
4.1 Etapa 1.	29
4.1.1 Número de lombrices adultas.	29
4.1.2 Porcentaje de materiales no deseados.	30
4.1.3 Especificaciones fisicoquímicas de lombricompostas.	34
4.2 Etapa 2.	39
V. CONCLUSIONES.	43
5.1 Etapa 1.	43
5.2 Etapa 2.	43
VI. BIBLIOGRAFIA.	44

INDICE DE CUADROS.

Cuadro.	Descripción.	Página.
1	Clasificación de la materia orgánica del suelo, según Walkley-Black.	6
2	Relación C/N de diferentes residuos	10
3	Humus agregado por Tratamiento y cantidad de nitrógeno por maceta.	24
4	Número de lombrices adultas con respecto a las Fechas de muestreo.	30
5	Promedios de los Tratamientos de los materiales minerales extraños, los materiales orgánicos no digeridos y las semillas viables.	31
6	Promedios de las Fechas de los materiales minerales extraños, los materiales orgánicos no digeridos y las semillas viables.	32
7	Promedio de las Fechas de los materiales inertes.	33
8	Grados de calidad para humus de lombriz según lo estipulado por la NMX-FF-109-SCFI-2008 con base a las específicas.	33
9	Porcentaje de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y relación C/N en los cuatro Tratamientos.	35
10	Porcentaje de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y relación C/N en las tres Fechas en humus de lombriz.	36
11	Especificaciones fisicoquímicas que se deben de cumplir para el humus según la NMX-FF-109-SCFI-2008.	36
12	Valores promedio de pH por Tratamiento para la tercer Fecha.	38
13	Requisitos para evaluar las especificaciones sensoriales (según la NMX-FF-109-SCFI-2007).	38
14	Variables fenológicas de nopalito para los nueve Tratamientos presentadas en promedio por planta.	40
15	Variables de nopalito para las tres Fechas.	42

INDICE DE FIGURAS.

Figura.	Descripción.	Página.
1	Relación C/N y grados de humificación.	10
2	Muestra de cocones de lombriz.	12
3	Estado juvenil.	12
4	Lombriz sin clitelo.	13
5	Adulto mostrando clitelo bien desarrollado.	13
6	Distribución de las unidades experimentales de lombricomposta para la Etapa 1.	19
7	Área experimental de la Etapa 1.	19
8	Unidad experimental de la Etapa 1.	20
9	Distribución de las unidades experimentales para la Etapa 2.	20
10	Área experimental de la Etapa 2.	20
11	Unidad experimental de la Etapa 2.	21
12	Diferentes tamaños de partícula.	22
13	Muestreador usado para extraer humus (Schuldt, 1998).	25
14	Medición de los nopalitos tiernos.	28

RESUMEN.

El humus de lombriz es un material que se utiliza para el abonado de los suelos, por lo tanto, es importante conocer sus valores nutrimentales para observar lo que aporta a la planta, y así evaluar la respuesta fenológica del cultivo, por lo que este trabajo pretende dar respuesta a estas preguntas.

El presente trabajo está representado por dos Etapas de desarrollo. En la primera Etapa se evaluaron cuatro sustratos diferentes (T1: Estiércol bovino; T2: Podas de jardín; T3: Podas de árboles y T4: Esquilmos de sorgo) y consistió en la producción de humus y evaluar sus características y poder utilizarlo en la segunda Etapa, y esta, consistió en evaluar su efecto en el rendimiento del nopal verdura. Además, en algunos Tratamientos se adicionaron materiales como pumicita y zeolita con el objetivo de observar si mejoraba en el rendimiento.

En este trabajo se concluyó que las variables físicas y químicas que se midieron en la primera Etapa fueron diferentes entre sustratos (Tratamientos) y entre Fechas de muestreo, mostraron que los sustratos fueron diferentes en cuanto a su aceptación por las lombrices y que se transformaron en diferentes tiempos. En la segunda Etapa donde se evaluó la producción de nopal verdura, se concluyó que la dosis de humus que se aplicaron, fue insuficiente para observar datos significativos entre Tratamientos en la Fecha de observación que se planteó.

Palabras clave: Podas de jardín, Esquilmos de sorgo, Estiércol bovino, pumicita, Zeolita.

SUMMARY.

Worm humus is a material that is used for the fertilization of soils, therefore, it's important to know it's nutritional values to know the contribution to plants, and thus evaluate the phenological response of crop, so, this research work aims to answer those questions.

The present work is represented by two stages of development. In the first stage were evaluated four different substrates (T1: Bovine manure; T2: Garden pruning; T3: Tree pruning and T4: Sorghum stubble) and consisted in the production of humus to evaluate its characteristics in order to be able to use it in the second stage. This stage, consisted in evaluating its effect on the yield of cactus paddle. In addition, in some treatments, materials such as pumicite and zeolite were added to see if the performance improved.

In this work, it was concluded that the variables that were measured in the first stage, founding statistical differences between substrates (Treatments) and between periods of sampling, being understood that the four substrates were different in their acceptance by worms and that they are transformed at different times. In the second stage, it was concluded that the dose of humus applied to the nopal vegetable was insufficient to observe significant data between treatments in the period of observation that was proposed.

Key words: Garden pruning, Sorghum stubble, Bovine manure, Pumicite, Zeolite.

I. INTRODUCCION.

En algunos municipios del área metropolitana de Monterrey Nuevo León, México, el mantenimiento que se le da a las áreas verdes genera muchos residuos, como los cortes de podas de árboles y de zacate. Así mismo, en las áreas rurales circundantes al municipio, la gestión de reciclaje de estiércol bovino puede ser un problema para productores de medianos recursos, así como también la cosecha de forraje que, en algunos casos, su grano se aprovecha, pero el resto de la paja no. Estos materiales pueden ser composteados o incorporados al suelo para mejorar la productividad de los cultivos. Una opción que se puede considerar es la transformación de estos residuos en un producto aprovechable, como lo es a través de la lombricultura.

Varios autores han caracterizado los materiales de los residuos municipales, y todos coinciden que la materia orgánica es el residuo más abundante del total de los desperdicios que se desechan.

Existen diversas prácticas para convertir los desechos orgánicos en un producto económicamente beneficioso como lo es la composta y lombricomposta, de las cuales los productores obtienen humus y lixiviados líquidos, ricos en elementos nutricionales para las plantas.

Las lombrices de tierra pueden jugar un rol importante en la rehabilitación de las funciones del suelo. Con el empleo de humus de lombriz hacia los cultivos agrícolas, estaremos liberando sustancias minerales lentamente, suministrando a las plantas una fuente constante de alimentación durante todo el periodo vegetativo.

Este trabajo pretende utilizar la lombriz de tierra *Eisenia fetida* (Edwards y Bohlen, 1995) para producir humus a partir de diferentes sustratos que han sido catalogados como desechos orgánicos.

Dependiendo del material orgánico al cual se someten al proceso de lombricomposteo, se ha observado diferentes tiempos de descomposición, y por consiguiente diferentes variables fisicoquímicas.

Pero para obtener estos productos de buena calidad nutricional, se requiere conocer, cuando es el momento óptimo en el cual se deba colectar, ya que depende de su calidad nutricional y otros aspectos sensoriales.

1.1 Hipótesis.

1.- Los diferentes sustratos que se suministran a lombrices de tierra son de diferente origen por lo que estos aportan diferente calidad al humus producido. Por lo tanto, la composición del humus originado de estos sustratos, tendrán diferentes características físicas y químicas.

2.- El humus de diferentes orígenes presentan diferentes características, por lo tanto, se espera que modifiquen el rendimiento del nopal verdura.

1.2 Objetivos.

1.- Analizar las características físicas y químicas del humus de lombriz que se producen con los diferentes sustratos orgánicos.

2.- Medir el rendimiento y producción de nopalito con base a los diferentes tipos de humus aplicado.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1 Materia Orgánica.

El término “materia orgánica” se creó originalmente para referirse a compuestos derivados de seres vivos naturales que son diferentes de los derivados de sustancias no vivas.

La materia orgánica es el más complejo y menos entendido de todos los componentes de los suelos. Es tan importante y relativamente reactivo que es inevitable pensar que tiene una influencia considerable sobre el suelo como medio para las plantas cultivadas.

En el Cuadro 1 se presenta una clasificación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas, determinada por el método de laboratorio denominado Walkley-Black.

Cuadro 1. Clasificación de la materia orgánica del suelo, según Walkley-Black.

Clase	Materia Orgánica %
Extremadamente pobre	0.00 – 0.60
Pobre	0.61 – 1.20
Medianamente pobre	1.21 – 1.80
Mediano	1.81 – 2.40
Medianamente rico	2.41 – 3.00
Rico	3.01 – 4.20
Extremadamente rico	Mayor de 4.20

Debido a la descomposición de la materia orgánica que se acelera a medida que se cultivan los suelos, se necesitan adiciones regulares para mantener niveles adecuados.

Los beneficios de la materia orgánica aportada al suelo son los siguientes:

- 1.-Fortalecimiento de la estabilidad estructural del suelo.
- 2.-Mayor capacidad de retención de humedad y nutrientes.
- 3.-Mayor actividad biológica (lombrices, raíces, bacterias, artrópodos y otros agentes vivos).

2.1.1 Biodegradación de la materia orgánica.

La biodegradación o compostaje es un proceso de descomposición de materia orgánica que necesita la ayuda de una gran variedad de microorganismos, (Nutr *et al.*, 2007) lombrices de tierra, (Leon *et al.*, 1992) e insectos como cucarachas (Arango y Agudelo, 2004), y coleópteros (Vasquez y Arango, 2004) y otros insectos en la presencia de aire y humedad. Por lo general, la cantidad de composta producida, varía en el volumen de los residuos originales (Karaka, 2011). El objetivo de la composta es transformar residuos sólidos urbanos a otras sustancias menos contaminantes (Font *et al.*, 2011).

Diversos autores han trabajado con varios cultivos, por citar algunos podemos mencionar los siguientes: tomate (Abdel-Mawgoud *et al.*, 2007), sorgo (Hameeda *et al.*, 2007) y nopal (Palma y Gutierrez, 2010), entre otros.

Towhid-Osman, (2013) menciona que existen tres categorías de la materia orgánica en el suelo basado en el estado de descomposición. Estas son: 1.- sin descomponerse, 2.- parcialmente descompuesto y 3.- materia orgánica descompuesta.

- La materia orgánica sin descomponerse incluye material recientemente aportado por árboles y arbustos como hojas ramas, flores y frutos y también se incluyen restos de animales. Estos materiales empiezan a descomponerse inmediatamente después de su incorporación. Es muy difícil separar materia orgánica descompuesta y sin descomponer. Comprende del 1-10% de la materia orgánica del suelo.
- La materia orgánica parcialmente descompuesta incluye residuos orgánicos que han sufrido descomposición en un grado considerable. La estructura y el origen del material pueden o no puede estar identificado. Se compone del 10-40% del total de materia orgánica en el suelo.
- Materia orgánica descompuesta o Humus: El humus no está descompuesto totalmente ya que el producto final de la descomposición es CO_2 y agua, se dice sin embargo que está en un proceso avanzado de descomposición debido a que ha pasado mucho tiempo, quizá algunos cientos o siglos después de la caída de la materia vegetal o animal al suelo. El humus contiene compuestos como lignina y polifenoles, por lo que al humus también se le llama materia orgánica pasiva. Comprende del 40-60% de la materia orgánica del suelo.

2.2 Mineralización De Residuos Orgánicos.

La mineralización es el proceso que transforma los residuos animales y vegetales en sustancias minerales inorgánicas, consiste en dos procesos: la mineralización primaria que es un proceso aerobio, y humificación anaerobia que produce humus.

Los microorganismos son responsables de la mineralización e inmovilización de nitrógeno, fósforo y azufre a través de la descomposición de la materia orgánica.

Por lo tanto, estos contribuyen a la liberación gradual y continua de los nutrientes de las plantas. Los nutrientes que no son absorbidos por las plantas son retenidos por los microorganismos del suelo.

2.3 Relación Carbón/Nitrógeno.

La relación C/N se obtiene dividiendo el porcentaje de carbono por el porcentaje de nitrógeno en el suelo, pero también se puede calcular en los tejidos vegetales y animales.

Esta relación tiene una influencia significativa en la descomposición de la materia orgánica. Según Heathwaite y Göttlich (1993) se pudo ver que había una descomposición clara entre ambos indicadores. (Figura 1) Una relación de C/N en un suelo apto para la siembra varía dentro de un rango entre 10:1 y 12:1. Una relación alta de C/N denota la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica no descompuesta a parcialmente descompuesta. Y una relación C/N menor de 10:1 indica una mayor nitrificación en el suelo.

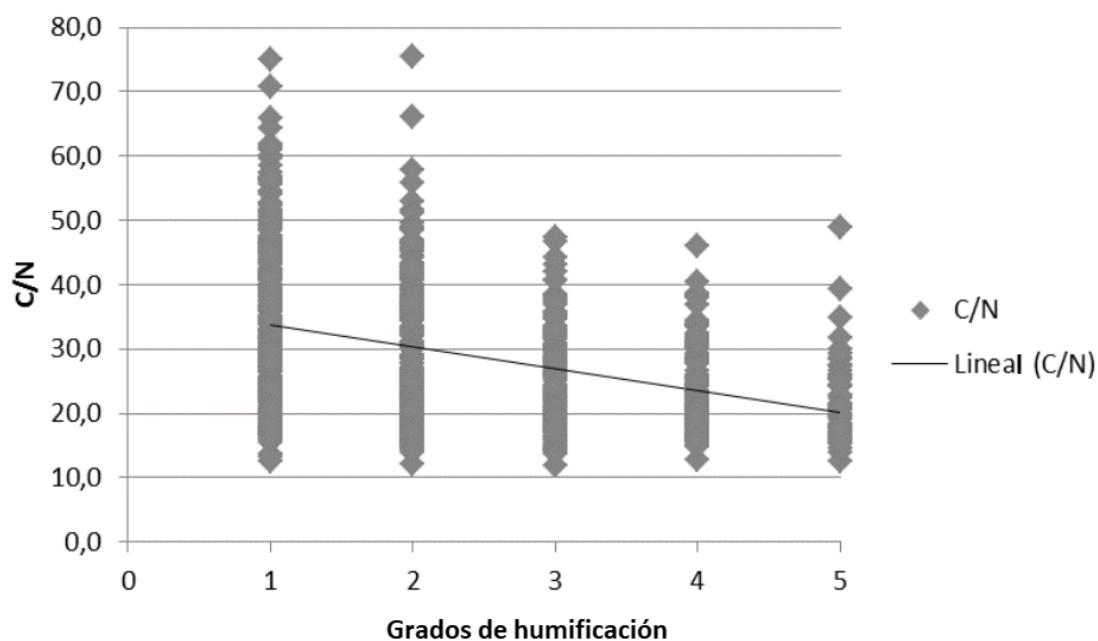


Figura 1. Relación C/N y grados de humificación.

Las relaciones C/N de diferentes fuentes se encuentran en el Cuadro 2, donde los diferentes tipos de lombricomposta necesitan conocer la relación C/N, ya que los materiales con C/N inferiores a 10:1 liberan N muy rápido, entre C/N de 10:1 y 20:1 la liberación es gradual, entre C/N de 20:1 y 30:1 la mineralización es muy lenta y más allá de C/N de 40:1, el N disponible puede inmovilizarse por algún tiempo.

Cuadro 2. Relación C/N de diferentes residuos.

Residuos	Relación C/N (norganics.com)	Relación C/N (Jenkins J. 2005)
Suelo	12:1	-
Composta	15:1 – 20:1	-
Estiércol bovino	10:1 – 30:1	19:1
Podas de zacate	9:1 – 25:1	12:1 – 19:1
Podas de arboles	100:1 – 1000:1	496:1
Residuos de cultivos forrajeros	35:1 – 45:1	60:1 -73:1

2.4 La Lombriz de Tierra *Eisenia fétida* (Edwards y Bholen 1995).

Las lombrices de tierra pueden jugar un rol importante en la rehabilitación de las funciones del suelo, y se les considera los ingenieros en los ecosistemas. (Sharanpreet *et al.*, 2016) ha encontrado que la lombricomposta producida por la lombriz *Metaphire posthuma* (Vaillant, 1868) incrementa la disponibilidad de nitrógeno y fósforo para las plantas, se encontró lo mismo para la lombriz *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867).

Las lombrices son de alto impacto para los procesos de fertilidad de suelos y su beneficio es de alta importancia para la agricultura. Estos son temas que están generando un interés cada vez mayor. (González-Rosales *et al.*, 2012; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2012).

Las principales características de *Eisenia fetida* se describen por Edwards y Bohlen (2004) y mencionan que son simétricas bilateralmente, no tienen esqueleto, y poseen sedas en todos los segmentos que le ayudan a desplazarse por el sustrato. Las lombrices de tierra y todos los demás oligoquetos son hermafroditas incompletas, esto quiere decir que necesitan de otra lombriz para aparearse, y cuando maduran, un área hinchada de la epidermis llamado clitelo, situado en segmentos particulares, forma un capullo en el que se depositan los óvulos y estos se hacen pasar por el segmento anterior. Los cocones, (estructuras reproductoras) son fertilizados y los jóvenes se desarrollan dentro de ellos. Las lombrices recién nacidas son parecidas a los adultos.

Schuldt *et al.*, (2005) optan por dividir el ciclo de vida de las lombrices, en 4 Etapas, las cuales son las siguientes:

- Cocones: Estas son las estructuras reproductivas de conformación piriforme de 3 a 4 mm de largo por 2 a 3 mm de diámetro, estos al momento de hacer un análisis de población en los sustratos, conviene cuantificar a aquellos con lombrices y sobre todo a los vacíos, ya que permiten extrapolar la fecundidad. (Figura 2).



Figura 2: Muestra de cocones de lombriz.

- Juveniles: son lombrices recién emergidas del cocón, cuya pigmentación es transparente e insuficiente para evitar que el tubo digestivo trasluzca (Figura 3).



Figura 3: Estado juvenil.

- Subadultos: Son todos aquellos que su intestino ya no se aprecie y carentes de clitelo. Su tamaño puede ser muy variable, ya que pueden ser mayores de 1.5 cm y generalmente menores de 3 cm. (Figura 4).



Figura 4: Lombriz sin clitelo.

- Adultos: Son todas aquellas lombrices con clitelo, por lo que están preparadas a fecundar a otra lombriz. La gran mayoría alcanza su etapa de adulta cuando pesan más de 0.25 gr independientemente de la dieta. (Schuldt *et al.*, 2006) (Figura 5).



Figura 5: Adulto mostrando clitelo bien desarrollado.

La respiración de las lombrices se da a través de la epidermis, es por ello importante mantener una humedad de cerca del 70%, ya que adentro del cuerpo de las lombrices se encuentra un líquido celómico, y si la quitina de la cutícula se seca por la falta de humectación, no permite la difusión de este gas.

Eisenia andrei (Savigny (1826) y *Eisenia fétida* (Edwards y Bohlen (1995) son dos especies de lombrices de tierra muy relacionadas y utilizadas habitualmente en el proceso de lombricomposta de residuos sólidos. Sin embargo, Domínguez y Losada (2010) demostraron que es importante considerarlas como dos especies diferentes y evitar los cultivos mixtos.

2.4.2 Contribución del humus de lombriz a las plantas y al suelo.

Las excretas de las lombrices, son cementados fundamentalmente por mucopolisacaridos producidos por bacterias en el intestino de las lombrices.

Brown *et al.*, (2004) define seis cambios que la lombriz afecta al suelo de manera directa o indirecta.

- 1.- Cambios en la población, en la actividad y la dispersión de los microorganismos del suelo.
- 2.- Libera sustancias de crecimiento que influyen en la producción de la planta.
- 3.- Las lombrices de tierra consumen partes muertas de las raíces.
- 4.- El consumo de semillas de malezas por la lombriz de tierra.

5.- Se producen cambios en la estructura del suelo que es causada por las lombrices de tierra.

6.- Las lombrices de tierra causan cambios en la disponibilidad espacio-temporal de nutrimentos.

Algunos de los cultivos a los que se benefician en cuanto a la aplicación del lombricomposta son: solanáceas como el tomate (Abdel-Mawgoud *et al.*, 2007) y el pepino (Eulloque-Guerrero, 2013), gramíneas como la avena (Gaibor-Viteri 2008), arroz (El-Haddad 2014), además del nopal verdura (Escoto-González, 2014), por mencionar algunos trabajos.

Incluso los lixiviados (líquido que drena de los sustratos después de humedecer las lombrices, esto con el fin de mantenerlas en óptimas condiciones) pueden ser utilizados como fertilizante para plantas como el sorgo (Gutiérrez *et al.*, 2008) y el tomate (Tejada *et. al.* 2008).

Una de las primeras cosas que se deben de tomar en cuenta antes de establecer una producción de humus de lombriz, es decidir qué tipo de alimento se deben de dar a las lombrices y como se deben de preparar en cuanto a disponibilidad de agua y manejo de temperatura, ya que los ciclos estacionales de la actividad de las lombrices son determinados por estos factores. (Uvarov *et. al.* 2011; Hernández *et al.*, 2006).

2.5 Características Físicas Y Fisiológicas Del Nopal Verdura.

México es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica. De las mil seiscientas especies de cactáceas en el mundo, se cuenta con el 68% y un importante número enfrenta problemas de sobrevivencia.

Bravo-Hollis (1991) hace una clasificación del género “Opuntia” y aclara que proviene de la familia de las cactáceas, y de la subfamilia Opuntioideae, se caracterizan por ser arborescentes, arbustivas y hasta rastreras, sus tallos son cilíndricos, claviformes, casi globosos o en cladodios más o menos ramificados.

Las hojas son representadas por un limbo pequeño y caduco, las areolas son circulares hasta elípticas, con fieltro, pelos, glóquidas y espinas que pueden ser más o menos largas y delgadas. Las flores son sésiles, una en cada areola. Las semillas (que se encuentran dentro del fruto carnoso y a veces prolifero) son discoideas, con arilo muy duro y globosas.

Una de las principales características del nopal es que desarrolla un tipo de fotosíntesis llamada C.A.M. (crasulaceae acid metabolism) ó metabolismo ácido de las crasuláceas, en este mecanismo el nopal cierra sus estomas durante el día. Generalmente este tipo de plantas tiene crecimiento lento que a veces tienen capacidades reproductivas limitadas y con frecuencia tienen condiciones muy específicas y limitadas para la germinación, la floración y producción de semillas. (Bravo-Hollis 1991).

2.5.1 Aspectos comerciales, productivos y climatológicos del cultivo del nopal verdura.

México es el país de origen del nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) pero apenas se dedica alrededor de un 3% para la agroindustria local, donde se elaboran productos para la industria de los alimentos, farmacéutica y perfumería; mientras que el 97% se consume en fresco, sin ningún beneficio adicional.

El nopal verdura es un cultivo que en el 2013 registró una superficie cultivada de 13,123 ha con una producción de 784,774 t (SIAP 2013). El consumo per cápita en México se estimó en 6 kg, generalmente se consume por sus propiedades medicinales y alimenticias. La actual producción de nopal para verdura asciende a 18 000 ha.

Mondragón *et al.*, (2003) mencionan que el nopal es una especie que tiene un amplio rango de adaptación a temperaturas. *O. ficus-indica* es extremadamente tolerante a altas temperaturas del aire, por ejemplo, el daño es observado únicamente a nivel del suelo, donde las temperaturas en los desiertos pueden alcanzar los 70°C. En contraste, el daño por temperaturas congelantes es observado cuando alcanza desde los 5°C. El rango de temperatura óptima es de 15 a 16°C.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Ubicación Del Área Experimental.

El estudio se llevó a cabo en el vivero de planta nativa en las instalaciones de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

3.2 Diseño Estadístico.

El trabajo se realizó en dos Etapas experimentales, los experimentos en estas etapas se establecieron de acuerdo con un diseño experimental de bloques completos al azar y en las variables en donde se presentaron diferencias significativas, se utilizó el método de Tukey para la comparación de medias. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS versión 19, usando un valor de significancia de $P < 0.05$. Las distribuciones de las unidades experimentales se encuentran en la Figura 6 para la Etapa 1, y la Figura 9 para la Etapa 2.

Para la primera Etapa cada unidad experimental consistió en un cajón de fibra de vidrio (0.6 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.35 m de alto), con una capa de 0.20 m de alimento, la cual se incorporó al inicio. Además, debajo de estos contenedores, se dispuso de otro para recibir los drenados resultantes del riego de las compostas (las lombrices necesitan para su completo desarrollo un $70 \pm 5\%$ de humedad) (Figura 10).

Para la segunda Etapa, la unidad experimental consistió en un cladodio madre sembrado en cubetas de capacidad de 19L llena con suelo cribado. (Figura 11).

T1 R1	T2 R1	T3 R1	T4 R1
T1 R2	T2 R2	T3 R2	T4 R2
T1 R3	T2 R3	T3 R3	T4 R3
T1 R4	T2 R4	T3 R4	T4 R4
T1 R5	T2 R5	T3 R5	T4 R5
T1 R6	T2 R6	T3 R6	T4 R6

Figura 6. Distribución de las unidades experimentales de lombricomposta para la Etapa 1.

Clave: T: Tratamiento y R: Repetición



Figura 7. Área experimental de la Etapa 1.



Figura 8. Unidad experimental de la Etapa 1.

T5 R1	T1 R1	T2 R2	T3 R3	T4 R4	T6 R1	T7 R2	T8 R4	T9 R3
T3 R4	T2 R3	T4 R1	T6 R2	T8 R1	T1 R1	T9 R4	T5 R2	T7 R3
T7 R4	T6 R3	T1 R1	T8 R2	T5 R3	T4 R2	T2 R4	T9 R1	T3 R1
T9 R2	T4 R3	T5 R4	T2 R1	T7 R1	T3 R2	T8 R3	T1 R1	T6 R4

Figura 9. Distribución de las unidades experimentales para la Etapa 2.



Figura 10. Área experimental de la Etapa 2.



Figura 11. Unidad experimental de la Etapa 2.

3.3 Descripción de los Tratamientos.

A continuación, se presentan la descripción de los Tratamientos de la Etapa 1.

Etapa 1.

Tratamiento 1: Estiércol bovino de vacas lecheras Holstein (*Bos Taurus* Linnaeus, 1758), en producción alimentado con silo de sorgo. Este material se utilizó tal como procedía de los corrales correspondientes y no pasó por ningún proceso de criba ni de colecta de materiales extraños.

Tratamiento 2: Podas de pasto (*Cynodon dactylon* (Pers) Se colectó material podado de las áreas verdes de la Facultad de Agronomía. Una vez colectado este material, se revisó y se detectó una presencia reducida de zacate de la especie *Stenotaphrum secundatum* (Walter). Se detectó que en el proceso de

precompostaje, este tiende a calentarse un poco más que el pasto *Cynodon dactylon* (Pers).

Tratamiento 3: Podas de árboles de diferentes especies, entre ellas se encuentran las siguientes: *Fraxinus uhdei* (Wenz), *Celtis leavigata* (Willd) y *Quercus virginiana* (Mill). Se colectó material que se había podado dentro de las instalaciones de la Facultad de Agronomía en el Campus Marín. Estas podas se pasaron por una trituradora, la cual dejó un tamaño de partícula media de más de 2 cm de largo, además de varios pedazos de rama completos, por lo que se buscó otra trituradora que pudo dejar un tamaño de partícula adecuado para el consumo eficiente de la lombriz roja. En la Figura 12 se puede ver la diferencia de los tamaños de partícula que dejaron las dos trituradoras.



Figura 12. Diferentes tamaños de partícula. a) Primera trituradora.
b) Segunda trituradora.

Después de la acción de la segunda trituradora, se repitió pasar las partículas para reducir algunos pedazos que quedaron muy grandes. Se notó que, aun así, todavía quedaban pedazos de más de 2 cm de largo.

Tratamiento 4: Esquilmos de sorgo (*Sorghum bicolor* (Moench) para producción de grano. Se colectó este material de los campos de producción agrícola de la Facultad de Agronomía, Campus Marín. A los esquilmos agrícolas, se les hizo pasar por una trituradora industrial que redujo a un tamaño de partícula menor a 2cm. La cual resultó adecuado para la alimentación de la lombriz roja.

Etapas 2.

La cantidad de humus agregado por Tratamiento en la Etapa 2, varió según la cantidad de nitrógeno (N) encontrado en el análisis de laboratorio, donde se estandarizo con base al Tratamiento más alto, (Tratamiento 2 con 2.22g de N por maceta) por lo que se presentaron diferentes cantidades de humus por Tratamiento (Cuadro 3). Debido a que los Tratamientos 1, 3 y 4 fueron más bajos que el Tratamiento 2, se les aumentaron las dosis de humus, para que todos pudieran alcanzar la misma cantidad de N que el Tratamiento 2 con base a 12 t. ha⁻¹, esperando que las diferencias que se dieran en los Tratamientos fueran debido a que los otros Tratamientos provenían de diferentes fuentes, aportando diferentes cantidades de otros nutrimentos diferentes al N.

Los Tratamientos de la segunda Etapa fueron los siguientes:

Tratamiento 1: Humus de estiércol bovino 18.92 t. ha⁻¹.

Tratamiento 2: Humus de podas de zacate 12 t. ha⁻¹.

Tratamiento 3: Humus de podas de árboles 19.73 t. ha⁻¹.

Tratamiento 4: Humus de esquilmos de sorgo 12.05 t. ha⁻¹.

Tratamiento 5: Humus de podas de zacate 12 t. ha⁻¹ + zeolita 2 t. ha⁻¹.

Tratamiento 6: Humus de podas de zacate 12 t. ha⁻¹ + zeolita 4 t. ha⁻¹.

Tratamiento 7: Humus de podas de zacate 12 t. ha⁻¹ + pumicita 2 t. ha⁻¹.

Tratamiento 8: Humus de podas de zacate 12 t. ha⁻¹ + pumicita 2 t. ha⁻¹.

Tratamiento 9: Suelo sin fertilizar (testigo).

Cuadro 3. Humus agregado por Tratamiento y cantidad de nitrógeno por maceta.

Tratamientos	N	Nivel de N	Humus agregado
(Número)	original	estandarizado	por maceta
	(g)	(%)	(g)
Tratamiento 1:	0.94	2.22	133.73
Tratamiento 2:	2.22*	2.22	84.82
Tratamiento 3:	0.79	2.22	139.46
Tratamiento 4:	2.21	2.22	85.21
Tratamiento 5:	2.22	2.22	84.82
Tratamiento 6:	2.22	2.22	84.82
Tratamiento 7:	2.22	2.22	84.82
Tratamiento 8:	2.22	2.22	84.82
Tratamiento 9:	0	0	0

*Valor de N a estandarizar.

3.4 Toma De Muestras.

Etapas 1.

Para sacar muestras de humus, se utilizó un muestreador de acero con varillas de 1 cm de separación, esto, para no dañar a ninguna lombriz durante el proceso de extracción, utilizando el método propuesto por Schuldt *et. al.*, (1998) (Figura 13). El volumen total de muestra fue de 490 cm³.

La forma de muestreo depende del tipo de material, ya que, al mes, ciertos materiales se habían compactado más de lo que se tenía al inicio, como en el caso

de los Tratamientos 2 y 4, debido a que las lombrices comenzaron a consumir los materiales produciendo humus donde los espacios vacíos que tenían los Tratamientos se eliminaron. Al observarse heterogeneidad para la toma de muestras, se optó por tomar varios puntos dentro de la unidad experimental para completar el tamaño de muestra adecuado.

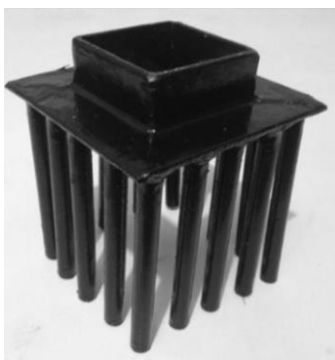


Figura 13. Muestreador usado para extraer humus (Schuldt, 1998).

En el caso del Tratamiento 1 y 3, se optó por hundir el muestreador hasta la mitad de las varillas en una esquina tomada al azar de la unidad experimental y el resto se tomó en el centro del cajón.

Etapas 2.

Los nopalitos empezaron a brotar y a crecer al mes de haberse plantado los cladodios madre. Los brotes se cortaron cada semana durante tres meses. El punto de corte era cuando los nopalitos alcanzaban los 15 cm de altura, pero algunos alcanzaron hasta más de 20 cm en el día establecido de la cosecha. Se cortaron en la base con un cortador desinfectado para posteriormente llevarlos al laboratorio.

3.5 Determinación De Las Variables.

Etapas 1.

A las muestras húmedas de lombricomposta se les retiraron las lombrices que contenía y se cuantificaron las adultas que presentaban clitelo, descartándose aquellas que no lo tenían ya que se les consideraba semiadultas o juveniles. Así se determinó el número de lombrices adultas por Fechas y Tratamientos.

Estas muestras sin presencia de lombrices se secaron al aire y al notar que ya no tenía signos de humedad, se guardaron en botes de plástico a la semana siguiente. En el momento de secarse, se observaba si en estas muestras contenían semillas cuantificándolas como viables cuando se observaba alguna plántula emergida.

Una vez secas las muestras, fueron llevadas al laboratorio para separar manualmente los materiales minerales extraños (%MME) como piedras presentes en el humus.

Al mismo tiempo se separaron los materiales orgánicos no digeridos (%MOND) y otros materiales inertes (%MI), y otros como vidrios y plásticos. Todos estos se pesaron y así se determinó %MME, %MOND y %MI.

Para determinar el porcentaje de cenizas, se utilizó el método de incineración utilizando una mufla Furnace 1500 elevando la temperatura a 500°C por 4 horas y una balanza analítica para determinar la diferencia de peso.

Con los datos anteriores, se procedió a determinar el porcentaje de materia orgánica

Para determinar el porcentaje de N total en las muestras de humus, se utilizó el método micro Kjeldahl, y con este dato, junto con el carbón orgánico, se determinó la relación C/N.

Para el caso del carbono orgánico, los resultados se calcularon siguiendo la siguiente formula:

$$\%CO = \%M.O. / 1.724.$$

Donde:

%CO Porcentaje de Carbono Orgánico.

%M.O. Porcentaje de Materia Orgánica.

1.724 Factor Van Benmelen.

Al humus también se le determino pH, color en seco y en húmedo utilizando una tabla de colores de Munsell y también se realizó una prueba sensorial con 5 estudiantes de la Facultad de Agronomía para determinar si despedían mal olor.

Etapas 2.

Antes de iniciar la Etapa 2 que consistía en evaluar la producción de nopalito con base a las diferentes dosis de humus, se pesaron los cladodios madre y se midió el largo y el ancho con una cinta métrica y el grosor de estos con un vernier en dos puntos extremos para posteriormente sacar el promedio. (Figura 14).



Figura 14. Medición de los nopalitos tiernos.

Los nopalitos después de cosechados fueron llevados al laboratorio para pesarlos y medirles el largo, ancho y grosor para posteriormente trocearlos en cuadros pequeños y llevarlos a una estufa de secado marca Tecno Dalvo TDE a 65°C durante dos días, con estos pesos se determinó peso fresco, peso seco y el porcentaje de materia seca.

Se realizó un análisis de Correlación de Pearson para las variables del cladodio como ancho, largo, peso, grosor y área fotosintética, así como los nopalitos cosechados: Número, largo, ancho, grosor, peso fresco, peso seco, rendimiento en fresco = (peso fresco promedio * número de nopalitos) y rendimiento en seco = (peso seco promedio * número de nopalitos).

IV. RESULTADOS.

4.1 Etapa 1.

4.1.1 Número de lombrices adultas.

En el Cuadro 4 se pueden observar el número promedio de lombrices adultas que se contabilizaron en las unidades experimentales. Se puede observar que los promedios varían mucho entre todos ellos, esto indica que las lombrices no están de manera uniforme en las unidades experimentales. Sin embargo, en la Fecha 1 que corresponde al 30 de septiembre del 2015 se observó que el Tratamiento 2 (Podas de zacate) fue el que alcanzó el número de lombrices más alto.

Con respecto a la Fecha 2 que corresponde al 30 de octubre del 2015 no se detectaron diferencias significativas en el número promedio de lombrices, sin embargo, la tendencia fue que el Tratamiento 2 presentó el número más alto de lombrices adultas. En cuanto a la Fecha 3 que corresponde al 30 de noviembre del 2015, se detectó que el Tratamiento 1 (Estiércol bovino) fue el que obtuvo el mayor número de lombrices adultas. Probablemente en el caso de este Tratamiento tendió a ser más caliente, donde la temporada del mes de noviembre que fue más fresca, no afectó a las lombrices por efecto de dicho Tratamiento.

Con la información que se presenta en el Cuadro 4, esta no muestra una tendencia en la disminución o aumento de población con respecto a la Fecha de muestreo, pues los resultados observados no marcan tendencias claras con respecto al número de lombrices adultas.

Cuadro 4. Número de lombrices adultas con respecto a las Fechas de muestreo.

Fecha	Tratamiento	Promedio
1 30/09/2015	1	16.16 b
	2	60.16 a
	3	6.16 b
	4	18.66 b
2 31/10/2015	1	4.00 a
	2	16.50 a
	3	4.00 a
	4	10.66 a
3 30/11/2015	1	89.19 a
	2	46.16 b
	3	9.16 c
	4	32.00 b

4.1.2 Porcentaje de materiales no deseados.

En el Cuadro 5 se muestran los porcentajes de material mineral extraño, (%MME), Material orgánico no digerido (%MOND) y las semillas viables que se encontraron en los Tratamientos. Los resultados presentan que, en el MME el Tratamiento que tuvo el valor más alto fue el caso del Tratamiento 1 (4.87%) y el más bajo fue el Tratamiento 4 (Esquilmos de sorgo) (0.474%), estas diferencias se deben al lugar en donde se recolectó el alimento para las lombrices.

Así mismo se puede apreciar que el porcentaje más alto en MOND lo obtuvo el Tratamiento 3 (Podas de árboles). Esto indica que, en las unidades experimentales, la mitad del contenido (50.74%) correspondía al sustrato original de las podas. Esto se debe a que el material tiene un tamaño de partícula muy grande, a pesar de que las podas se pasaron por dos trituradoras para reducir el tamaño de partícula. Con respecto al Tratamiento 2, sobre la MOND muestra que el sustrato presenta un

promedio de 6.38% y esto demuestra que fue muy aceptado por las lombrices. En el Caso del Tratamiento 1, este valor de 0.00% se expresó así porque no fue posible diferenciar ni separar el estiércol bovino del humus.

En el porcentaje de semillas viables, todos los valores se mantuvieron en 0.00% ya que no se encontraron plántulas emergidas en las muestras que se sacaron.

Cuadro 5 Promedios de los Tratamientos de los materiales minerales extraños, los materiales orgánicos no digeridos y las semillas viables.

Tratamiento	MME	MOND	Semillas viables
		(%)	
1	4.87 a	0.00 c	0.00 a
2	.763 b	6.38 b	0.00 a
3	.042 b	50.74 a	0.00 a
4	.474 c	11.50 b	0.00 a

En el Cuadro 6 se muestran las tres Fechas de muestreo, donde los materiales minerales extraños (MME) no se detectaron diferencias significativas, en los cuales predominaron las piedras acarreadas con estos, siendo muy similares entre estas. El MOND entre fechas de muestreo nos indica la transformación que las lombrices estuvieron haciendo en función del tiempo. En la primera Fecha, se tuvo hasta un valor de 20.03% de material orgánico no digerido, mientras que en la Fecha 3 se tuvo el valor más bajo con un 14.68%. Esto indica que las lombrices estuvieron trabajando conforme al tiempo.

En las tres Fechas, no se encontraron plántulas emergiendo de las muestras, por eso el valor se mantuvo así en las tres Fechas (0.00%).

Cuadro 6 Promedios de las Fechas de los materiales minerales extraños, los materiales orgánicos no digeridos y las semillas viables.

Fechas	MME	MOND	Semillas viables
		(%)	
1	1.44 a	20.03 a	0.00 a
2	1.99 a	16.76 b	0.00 a
3	1.16 a	14.68 b	0.00 a

En el Cuadro 7 se presentan los valores de los Materiales Inertes, esto quiere decir, los materiales extraños que pudieran observarse, exceptuando las piedras, ya que estos se calcularon y colocaron en el Cuadro anterior (MME). Estos materiales inertes fueron objetos como pedazos de globos, colillas de cigarro, fichas entre otras cosas. Se puede hacer notar que el Tratamiento 2, es el único que tuvo valores, esto indica que este material al momento de colectarlo estaba contaminado, ya que su origen fue las podas de zacate, y estaban en un lugar donde transitan muchas personas que tiran basura en el pasto. En el caso del Tratamiento 1, 3 y 4, tienen valores nulos, ya que, para estos casos, los lugares de recolección no tenían basura. Esta variable se tomó en función de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008., sin embargo, no se observan un peligro inminente por el nivel de contaminación observado. (Cuadro 8).

Cuadro 7 Promedio de las Fechas de los materiales inertes.

Fecha	Tratamiento	Materiales inertes (Promedio)
1 31/09/2015	1	.000 b
	2	1.859 a
	3	.000 b
	4	.000 b
2 30/10/2015	1	.000 a
	2	.000 a
	3	.000 a
	4	.000 a
3 31/11/2015	1	.000 b
	2	.276 a
	3	.000 b
	4	.000 b

Cuadro 8. Grados de calidad para humus de lombriz según lo estipulado por la NMX-FF-109-SCFI-2008 con base a las especifica.

Atributos	Extra	Primera	Segunda
Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p)	De 0.0 a 1.5%	De 1.5 a 3.0%	De 3.1 a 5.0%
Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)	De 0 a 3.0%	De 3.1 a 6.0%	De 6.1 a 10.0%
Material inerte (% sobre materia seca p/p)	< 0.5%	De 0.51 a 1.0%	De 1.01 a 1.5%
Semillas Viabiles (semillas)	≤ 1	> 1 a ≤ 1.5	> 1.5 a ≤ 2

(p/p) peso sobre peso.

4.1.3 Especificaciones fisicoquímicas de lombricompostas.

En el Cuadro 9, se presentan porcentajes de las variables: cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y relación carbono/nitrógeno en los cuatro Tratamientos.

El porcentaje de cenizas más alto se presentó en el tratamiento 1 (71.52%), esto indica que únicamente se encontró 28.74% de materia orgánica, por lo que hubo una buena descomposición de la materia orgánica por las lombrices y microorganismos. El menor porcentaje de cenizas se encontró en el tratamiento 4 (77.04%).

De acuerdo con los datos obtenidos, se encontró un alto porcentaje de Carbono Orgánico en el Tratamiento 4 (44.69%), mientras que el más bajo fue el Tratamiento 1 con 16.67%, lo cual implica que el hecho de pasar los alimentos a través del tracto digestivo de los rumiantes, se reduce sustancialmente el Carbono Orgánico a través de dicho proceso.

Los valores de Nitrógeno se calcularon siguiendo el método Kjeldahl, dando como resultado valores significativos entre el Tratamiento 1 y 3 y entre el 2 y el 4. Lo cual significa que el Tratamiento 2 y 4 tienden a aportar cantidades suficientes de nitrógeno y en forma significativa, los cuales son superiores a los Tratamientos 1 y 3. Con los resultados de Carbono y Nitrógeno, se calcula la relación C/N, dando como resultado que el Tratamiento 3 obtiene un alto valor (38.77%), seguido del Tratamiento 4 (20.36%) y el Tratamiento 1 y 2 (17.87% y 16.16% respectivamente). Estos valores indican que el Tratamiento 3 que corresponde a las podas de árboles,

tiene un alto contenido de Carbón por representar materiales leñosos, lo cual les da mejor consistencia a estos, lo cual reduce la proporción de Nitrógeno en sus tejidos.

Cuadro 9. Porcentaje de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y relación C/N en los cuatro Tratamientos.

Tratamiento	Cenizas	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	Nitrógeno	Relación C/N
			(%)		
1	71.52 a	28.74 d	16.67 d	0.94 b	17.87 c
2	37.51 c	62.48 b	36.24 b	2.22 a	16.16 c
3	48.51 b	51.48 c	29.86 c	0.79 b	38.77 a
4	22.96 d	77.04 a	44.69 a	2.21 a	20.36 b

En el Cuadro 10 se presentan los porcentajes de ceniza, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y la relación C/N en las tres Fechas de muestreo establecidas.

Para el porcentaje de cenizas, la Fecha que tuvo una mayor concentración, fue en la tercera (45.42%), la cual es estadísticamente igual a la segunda pero diferente a la primer Fecha, quizás lo anterior se puede explicar, debido a que a medida que pasa el tiempo se van perdiendo más sustancias volátiles, quedando rezagadas los minerales que estas contenían. Para el caso de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno, la Fecha 1 fue el que tuvo un mayor porcentaje, con 55.53%, 32.21% y 1.61% respectivamente, pero en la relación C/N del Cuadro 10, la Fecha 2 alcanzó un rango de 24.39 a 22.53 carbonos por cada átomo de nitrógeno, en los cuatros sustratos utilizados, lo cual supera el rango señalado como adecuado de 20, que es la que exige la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Cuadro. 10. Porcentaje de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y relación C/N en las tres Fechas en humus de lombriz.

Fechas	Cenizas	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	Nitrógeno	Relación C/N
		(%)			
1	44.47 b	55.53 a	32.21 a	1.61 a	22.53 b
2	45.31 ab	54.69 ab	31.73 ab	1.47 b	24.39 a
3	45.42 a	54.58 b	31.66 b	1.54 ab	22.95 ab

Para tener una idea de las ventajas de los niveles alcanzados de los diferentes sustratos en este proceso de lombricomposteo, se presenta el Cuadro 11 con los valores más adecuados para la comercialización del humus según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Cuadro 11 Especificaciones fisicoquímicas que se deben de cumplir para el humus según la NMX-FF-109-SCFI-2008.

Característica.	Valor.
Nitrógeno total.	De 1 a 4% (base seca).
Materia Orgánica.	De 20 a 50% (base seca).
Relación C/N.	≤20.
pH.	De 5.5 a 8.5.

Comparando los valores de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 del Cuadro 11, con respecto a los valores obtenidos del Cuadro 10 se puede comentar que, en el caso de nitrógeno total, solo el Tratamiento 1 y 3, (0.94% y 0.79%), obtuvieron valores muy bajos para el cumplimiento de la Norma la cual exige de 1 a 4% de N en base a materia seca.

Para el caso de materia orgánica, tanto los promedios de las tres Fechas, como el promedio de los cuatro Tratamientos, rebasan las especificaciones de la Norma (de 20% a 50% base seca), excepto el Tratamiento 1 promediado en las tres Fechas (28.74%).

Para la relación C/N, todos los promedios cumplen con la norma (≤ 20), excepto el Tratamiento 2 promediado de las tres Fechas (16.16%).

Las relaciones C/N de los cuatro Tratamientos son muy diferentes entre si, cuanto más grande es el contenido de Carbón, la mineralización es más lenta, por lo que se puede notar en el Cuadro 10, que el Tratamiento 2 permite mayor liberación de Nitrógeno. El Tratamiento 3 es el único que no se encuentra en los límites permisibles para la Norma oficial mexicana, por lo que se sugiere buscar otra alternativa y presenta más resistencia a la liberación de Nitrógeno de acuerdo a los datos observados.

En el Cuadro 12, se encuentran los valores de pH, Color y Olor.

Según la Norma Oficial Mexicana, los valores de pH deben de estar entre el rango de 5.5 a 8.5, y en los valores obtenidos de experimento, ninguno de ellos rebasó los límites permitidos, La lombricomposta más alta en términos de pH se encuentra en el Tratamiento 4, (6.22%), pero todos se encuentran en los límites de la Norma Oficial Mexicana.

Para el caso del color, todos los Tratamientos están en el rango de negro a café oscuro según la tabla del color de Munsell para suelos, lo cual se especifica en

forma fraccionaria donde el dato representado por el primer valor es el volumen y el segundo, la cromaticidad.

En los cuatro tratamientos de los diferentes sustratos, al transformarse a humus predomina el color Marrón, sin embargo, el Tratamiento 1, formado por estiércol bovino, es un poco amarillo oscuro, mientras que el Tratamiento 2 de Podas de zacate, tiene tonalidades grises y muy oscuras. El tratamiento 3 (Podas de árboles) y 4 (Esquilmos de sorgo) son marrones oscuros, sin embargo, el 4 es más oscuro. Por lo anterior, podemos observar que el humus que se produce de los materiales de origen vegetal, coincide con colores de marrón muy oscuros.

En el Cuadro 12 se muestra que todos los Tratamientos tienen una ausencia de olores, por lo que en ambas características (color y olor), los dos cumplen con lo requerido por la Norma Oficial Mexicana.

Cuadro 12. Valores promedio de pH, de color y de olor por Tratamiento

Tratamiento	pH	Color en solido	Olor.
1	7.93 a	3/4 Marrón amarillento oscuro.	Ausencia.
2	7.20 b	3/2 Marrón gris muy oscuro.	Ausencia.
3	7.21 b	3/3 Marrón oscuro.	Ausencia.
4	6.22 c	2/2 Marrón muy oscuro.	Ausencia.

El Cuadro 13 muestra las especificaciones sensoriales para el humus según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Cuadro 13. Requisitos para evaluar las especificaciones sensoriales (según la NMX-FF-109-SCFI-2007).

Especificación.	Características.
Color.	Todos los colores entre el negro a café oscuro, de acuerdo a la tabla de colores de Munsell.
Olor.	A tierra humedad, ausente de olores pestilentes.

4.2 Etapa 2.

En el Cuadro 14 se presentan las variables fenológicas que se evaluaron para los nopalitos de acuerdo a cada uno de los Tratamientos de humus que se evaluaron en esta Etapa, los cuales se mencionan a continuación: Número, largo, ancho, grosor, peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca. Sin embargo, en los análisis estadísticos, no se presentaron diferencias significativas en las variables estudiadas por cada uno de los Tratamientos, lo cual sugiere, al menos para las variables fenológicas que los niveles de humus utilizados, así como de los materiales de zeolita y pumicita, no fueron lo suficientemente contrastantes para mostrar las diferencias estadísticas esperadas, quizás lo anterior se deba a que el Periodo de cosecha de nopalito no fue lo suficientemente amplio como para observar el efecto de los tratamientos aplicados.

Cuadro 14. Variables fenológicas de nopalito para los nueve Tratamientos presentadas en promedio por planta.

Tratamiento	Número	Largo cm	Ancho cm	Grosor cm	Peso fresco g	Peso seco g	Materia seca %
1	3.58	17.29	7.81	0.55	60.95	2.24	4.37
2	3.33	17.00	7.84	0.57	61.06	3.09	4.31
3	3.41	17.19	7.82	0.56	58.30	2.52	4.26
4	3.16	16.98	7.42	0.55	58.27	2.90	4.71
5	2.66	17.45	8.27	0.62	67.42	3.02	4.41
6	3.25	17.89	8.20	0.55	68.60	3.03	4.73
7	2.75	17.49	8.20	0.58	66.90	3.03	4.54
8	3.08	17.11	8.32	0.56	66.06	2.88	4.40
9	3.13	17.38	8.12	0.57	65.60	3.21	4.28

En el Cuadro 15 se realizaron correlaciones tipo Pearson donde todas las variables evaluadas para detectar el grado de correlación que pudiéramos tener en cada una de estas, entre el cladodio madre y los nopalitos producidos. Las primeras 9 variables están relacionadas con la cosecha (número, largo, ancho, grosor, peso fresco, peso seco y porcentaje de materia seca) y las últimas con el cladodio madre (ancho, largo, peso, grosor y RTOF: rendimiento en fresco (peso fresco promedio * número de nopalitos), RTOS: rendimiento en seco (peso seco promedio * número de nopalitos) y AFM: área foliar del cladodio madre).

De este cuadro, se sacaron las siguientes conclusiones: El número de nopalitos está altamente relacionado con el rendimiento en fresco ($r=0.916$) y en seco ($r=0.781$), lo cual se entiende ya que no habrá rendimiento sin que haya producción de nopalito.

El peso en fresco de los nopalitos está altamente correlacionado con el largo ($r=0.806$) y el ancho ($r=0.753$) de estos, lo que quiere decir que el rendimiento en fresco se podría calcular utilizando los valores de largo y ancho de nopalito.

El área fotosintética del cladodio madre está altamente correlacionado con el largo ($r=0.814$) y el peso de este cladodio ($r=0.716$). Pero el ancho no tiene relación significativa en este caso ($r=0.431$). Por lo que es un punto importante para considerar cuando estemos colectando cladodios madre para su producción.

Cuadro 15. Variables de nopalito para las tres Fechas.

	Número	Largo	Ancho	Grosor	Peso fresco	Peso seco	Porcentaje de materia seca	RTOF	RTOS	Ancho M	Largo M	Peso M	Grosor M	AFM
Número	1	-.259	-.163	-.345*	-.349*	.070	.247	.916**	.781**	.167	.321	.442**	.334*	.297
Largo	-.259	1	.586**	.057	.806**	.361	-.167	.050	.063	.437**	.090	.085	.042	.213
Ancho	-.163	.586**	1	-.005	.753**	.485*	.278	.120	.215	.319	.359*	.358*	.101	.312
Grosor	-.345*	.057	-.005	1	.197	-.059	-.280	-.266	-.368	.022	-.011	-.079	.163	-.103
Peso fresco	-.349*	.806**	.753**	.197	1	.606**	.077	.027	.089	.322	.343*	.193	-.031	.370*
Peso seco	.070	.361	.486*	-.059	.606**	1	.393*	.312	.632**	.242	.342	.343	-.118	.317
Porcentaje de materia seca	.247	-.167	.278	-.280	.077	.393*	1	.255	.336	-.083	.147	.227	.060	.006
RTOF	.916**	.050	.120	-.266	.027	.312	.255	1	.828**	.320	.476**	.521	.329	.427**
RTOS	.781**	.063	.215	-.368	.089	.632**	.336	.828**	1	.301	.424*	.507**	.085	.396*
AnchoM	.167	.437**	.319	.022	.322	.252	-.083	.320	.301	1	.407	.597**	.276	.461**
LargoM	.321	.090	.359*	-.011	.343*	.342	.147	.476**	.424*	.407*	1	.678**	.193	.814**
PesoM	.422**	.085	.358*	-.079	.193	.343	.227	.521**	.507**	.597**	.678**	1	.479**	.716**
GrosorM	.334*	.042	.101	.163	-.031	-.118	.060	.329	.085	.276	.193	.479**	1	.316
AFM	.297	.213	.312	-.103	.370*	.317	.006	.427**	.396*	.431**	.814**	.716**	.319	1

V. CONCLUSIONES.

5.1 Etapa 1.

Los sustratos de diferente origen producen diferente calidad de humus para su uso agrícola, lo cual se comprueba con análisis de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno, además de la diferencia en población de lombrices por cada uno de estos, donde las podas de jardín permitieron un mejor desarrollo de la población.

5.2 Etapa 2.

Las características físicas del nopal no se pudieron modificar en el periodo corto de evaluación en el nopal verdura que se utilizó en este experimento, por lo anterior, se sugiere que, en investigaciones posteriores, se aumente el tiempo de evaluación para que sean más contrastante para evaluar las dosis de humus en la planta, así como también, tener un ciclo completo de cosechas para observar la respuesta a corto, mediano y largo plazo durante el año.

Considerando los resultados de las correlaciones entre las variables de ancho, largo, peso, grosor y área foliar del cladodio madre, se infiere que, al momento de hacer una plantación de nopal, es muy importante seleccionar los cladodios más grandes y de mayor peso para asegurar plantas más vigorosas.

VI. LITERATURA CITADA.

- Abdel A. M. R., N. H. M. El-Greadly, Y. I. Helmy y S. M. Singer. 2007. Responses of Tomato Plants to Different Rates of Humic-based Fertilizer and NPK Fertilization. *Journal of Applied Sciences Research* 3: 169-174.
- Arango-Gutiérrez. A. y L.M. Agudelo-Betancur. 2004. Valor biológico de las cucarachas en el compost. *Revista Lasallista de Investigación*. 1:96-98.
- Bravo-Hollis H. 1991. Subfamilia II Opuntioideae. En: Bravo-Hollis, H. (ed) *Las cactaceas de Mexico Vol. 1*, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. pp. 155-156.
- Brown G.G., C.A. Edwards, L. Brussaard. 2004. How earthworms affect plant growth: Burrowing into the mechanisms. En: C.A. Edwards (ed.) *Earthworm ecology*. 2nd ed. CRC press. Great Britain, U.K. pp. 13-50.
- Dominguez J. y J. P. Losada 2010. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 are two different earthworm species. *Acta Zool. Mex. Veracruz. Mexico* 26:321-331.
- Edwards C.A. y P.J. Bholen. 1995. *Biology and ecology of earthworms*. 3ª Ed. Springer Netherlands. Great Britain, U.K. 426.p.
- El-Haddad M.E., M.S. Zayed, G.A.M. El-Sayed, M.K. Hassanein y A.M.A. El-Satar. 2008. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. *Annals of Agricultural Sciences*. 59:243-251.
- Escoto-González J. 2014. Efecto de biofertilizantes y productos orgánicos en la producción de nopal verdura. Tesis de maestría en ciencias en producción agrícola. Facultad de Agronomía. Nuevo León. México 118 p.
- Eulloque-Guerrero J. 2013. Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia foetida* obtenido del contenido

ruminal bovino. Tesis de maestria en ciencias en producción agrícola sustentable. Michoacán, México. 81 p.

Font X., A. Artola y A. Sanchez. 2011. Detection, composition and treatment of volatile organic compounds from waste treatment plants. MDPI 11:4043-4059.

Gaibor-Viteri N. F. 2008. Utilización de diferentes niveles de abono orgánico (Humus) en la producción de forraje y semilla de pasto avena (*Arrhenatherum eliatum*). Tesis de ingeniero zootecnista. Escuela de ingeniería zootécnica, Riobamba, Ecuador. 36 p.

González-Rosales G., A. Nieto-Garibay, B. Murillo-Amador, R. Ramírez-Serrano, E.A. Villavicencio-Floriani, J.D. Hernández, X. Aguilar, Z.E. Guerrero. 2012. Guía técnica para la producción de lombricomposta. 1ª. Ed. Centro de investigaciones biológicas del noreste. Baja California Sur, México. 127 p.

Gutiérrez, F.A., R.C. Garcia, R. Rincon, M. Abud, M. Oliva, M. Guillen y L. Dendooven. 2008. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate, Bioresource Technology. 99: 6174-6180.

Hameeda B., G. Harini, O.P. Rupela, y G. Reddy. 2007. Effect of composts or vermicomposts on sorghum growth and mycorrhizal colonization. African journal of biotechnology 6: 9–12.

Heathwaite, A. L. y K. Göttlich. 1993. Mires Process, Exploitation and Conservation, John Wiley & Sons Inc. Ltd, London. 516 p.

Hernández, J. A., S. Pietrosevoli, A. Faria, R. Canelón, R. Palma y J. Martinez. 2006. Frecuencia de riego en el crecimiento de la lombriz (*Eisenia* spp.) y caracterización química del vermicompost. Revista UDO Agrícola. 6:20-26.

Jenkins, J. 2005. The humanure handbook. A guide to composting human manure. 2ª Ed. Library of congress. Pennsylvania, USA. 308 p.

- Karaka A. 2011. Biology of earthworms. 1a. Ed. Springer-Verlag. Berlin, Alemania. 319 p.
- Leon, S., Villalobos, G., Fraile, J., y González, N. 1992. Cultivo de lombrices (*Eisenia foetida*) utilizando compost y excretas animales, 16: 23–28.
- Mondragón J., C., S. J. Méndez G., y G. Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: De la reforestación al cultivo hidropónico. En: Mondragón-Jacobo, L. y S. Pérez-González. (Eds.). El Nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. FAO, Roma, Italia.
- Murray, R. M., M. G. Orozco, A. Hernandez, C. Lemus, y O. Najera, O. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. Avances en Investigación Agropecuaria, Nayarit, México. 18(1), pp. 23–31.
- NMX-FF-109-SCFI-2008. 2008. Humus de lombriz (Lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba. Norma Mexicana. Diario Oficial de la Federación. 26 de Mayo de 2008.
- Nutr, S., Sc, S., Nutr, P., Cariello, E., Casta, L., Gonz, J., y Verde, O. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos, 7(3), 26–37.
- Palma G., C. Rafael, y J. Gutiérrez. 2010. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) utilizando tres dosis de vermicompost con tres frecuencias de cosecha. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria.
- Schuldt M., A. Rumi, L. Guarrera y H.P. de Beláustegui. 1998. Programación de muestreos de *Eisenia foetida* (Annelida, Lumbricidae). Adecuación a diferentes alternativas de manejo. Rev. Arg. Prod. Animal 18 (1): 53-66.
- Schuldt M., R. Christiansen, L.A. Scatturice y J.P. Mayo 2006. La lombriz como animal de laboratorio. Estandarización de procedimientos. En: Mundi-prensa (ed.) Lombricultura teoría y práctica. Madrid. pp.266-278.

- Schuldt M. A. Rumi, D. Gutiérrez 2005. Determinacion de “edades” (clases) en poblaciones de *E. fetida* (Annelida, Lumbricidae) y sus implicancias reprobologicas. *Revista del Museo de la Plata Zoologia*. 17(170): 1-10.
- Singh., J. Singh y A. P. Vig. 2016. Earthworm as ecological engineers to change the physico-chemical properties of soil: soil vs vermicast. *Ecological Engineering* 90:1-5.
- Tejada M M., J. Gonzalez, M. Hernandez y C. Garcia. 2008. Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *ScienceDirect* 99 (14) :6228-6232
- Towhid K. 2013 Soil organic matter. In: Towhid-Osman, K. (ed.) *Soils, Principles, Properties and Management*. Springer Publ. Chittagong, Bangladesh. pp. 89-95.
- Uvarov A.V., A. V. Tiunov y S. Scheu. 2011. Effects of seasonal and diurnal temperature fluctuations on population dynamics of two epigenic earthworm species in forest soil. *Elsevier*. 43: 559-570.
- Vázquez-Vázquez R. E., F. Blanco-Macias., C. Ojeda-Zacarias, R. Valdez, J. Kawas, J.A. Santos, J.A. Pérez. 2012. Uso de lombrihumus en la producción de nopal verdura cultivar copena v1. *RESPYN “Revista Salud Pública y Nutrición” Edición Especial No. 04 2012 pp. 15 – 40.*
- Vasquez E. M. y G. P. Arango. 2004. Los coleopetros y el compost. *Revista Lasallista de investigación*. Antioquia, Colombia 1(1):93-95.